

# Comparación entre el uso de aire caliente y microondas sobre la capacidad de reventado de semilla en cuatro variedades de Amarantho (*Amaranthus sp*)

**Resumen:** El amaranto (*Amaranthus sp*) es un alimento que se cultiva en México desde la época prehispánica, siendo Tlaxcala, Puebla, Morelos y Estado de México los principales productores. Nutricionalmente es completo, debido a que aporta proteína de alto valor biológico, vitaminas y minerales. La principal forma de consumo es en confites (“alegrías”) preparados con la semilla reventada por medio de comales y actualmente por aire caliente. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la capacidad de reventado de semillas de amaranto de las variedades Nutrisol, Revancha, Amaranteca y Dorada cultivadas en el Estado de México y en Pénjamo, Gto. Se comparó el efecto del método de reventado (aire caliente y microondas) y la humedad de la semilla. En la evaluación del método, el reventado por aire caliente fue superior al uso del microondas. En cuanto a la capacidad de reventado, los resultados mostraron que la variedad, humedad y sitio de siembra tuvieron un efecto con significancia estadística sobre el volumen y densidad del reventado, mientras que la eficiencia no se vio afectada por el sitio de siembra. El presente trabajo permite complementar estudios de factibilidad para fomentar el uso de este cultivo en el Bajío guanajuatense.

**PALABRAS CLAVE:** aire caliente, *Amaranthus*, capacidad de reventado, humedad, microondas.



## Colaboración

María Guadalupe Moreno Contreras, Teresa Susana Herrera Flores; Licea De Anda Eva Marcela, Universidad Politécnica de Pénjamo; Micaela De la O Olán, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)

**ABSTRACT:** Amaranth (*Amaranthus sp*) is a food that is grown in Mexico since pre-Hispanic times, with Tlaxcala, Puebla, Morelos and Mexico State leading producers. It is nutritionally complete, because it provides protein of high biological value, vitamins and minerals. The main form of consumption is in candy (“alegrías”) prepared from the seed popped by griddles and actually by hot air. The aim of this study was to evaluate the popping capacity of amaranth seeds of Nutrisol, Revancha, Amaranteca and Dorada varieties grown in the State of Mexico and in Pénjamo, Gto. The effect of the popping method (hot air and microwave) and seed moisture was compared. In method evaluation, hot air popping was higher than microwaving. As for the popping capacity, the results showed that the variety, moisture and cultivation site had a statistically significant effect on the volume and density of the popped grain, while efficiency was not affected by the cultivation site. This work can complement feasibility studies to promote the use of this crop in the region of Guanajuato.

**KEYWORDS:** *Amaranthus*, hot air, microwave, moisture, popping capacity.

## INTRODUCCIÓN

El amaranto (*Amaranthus sp*) es un cultivo que es parte de la agricultura tradicional desde épocas prehispánicas logrando persistir hasta la actualidad. En México, prospera en regiones centrales de baja precipitación y tiene la capacidad de adaptarse a nuevos ambientes [1]. Esta semilla presenta la característica de poseer una proteína de alto valor biológico que presenta el balance de aminoácidos más cercanos a la proteína ideal. El aminoácido esencial lisina, el cual no está presente en las proteínas de los cereales, es abundante en el amaranto, por lo que es usado para complementar alimentos elaborados con maíz, trigo y arroz [2]. El cultivo de amaranto adquiere cada vez mayor interés debido a sus múltiples aplicaciones en las áreas farmacéutica, cosmética, ornamental, forraje y especialmente en la alimentación humana, ya que incluso las hojas y tallos tiernos pueden ser consumidos como verdura [2].

Para su utilización en la industria alimentaria, este grano es sometido a un proceso de reventado por aumento de temperatura, ya sea por contacto con una superficie caliente o en cámaras de aire a temperaturas elevadas. Sometiendo la semilla de amaranto a estas condiciones se forman granos reventados similares a las palomitas de maíz, que son utilizados en la elaboración de una gama extensa de productos como son dulces, harina, barras, bebidas, entre otros productos [2, 3]. Adicionalmente al método de contacto con superficie o aire caliente, el reventado puede ser realizado mediante la aplicación de microondas, técnica que va adquiriendo popularidad por ser una fuente de energía térmica limpia y utilizable para múltiples procesos alimenticios [4]. Las palomitas de maíz preparadas en microondas es una botada ampliamente distribuida en los hogares de todo el mundo y esta técnica puede ser empleada para otros cereales [4,5].

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la capacidad de reventado de semillas de amaranto de las variedades Revancha, Amaranteca, Dorada y Nutrisol, cultivadas en el Estado de México y en Pénjamo Gto. Se realizó la comparación del efecto del método de reventado mediante aire caliente y microondas, así como el porcentaje de humedad en semilla (4, 8 y 12%). Los parámetros que se evaluaron fueron el incremento de volumen, la eficiencia de reventado y la densidad de la semilla reventada.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Material vegetal

La semilla de amaranto de las variedades de Nutrisol (Ciclo P-V 2012) y Revancha (Ciclo P-V 2014) de la especie *Amaranthus hypochondriacus*, y las variedades Dorada y Amaranteca (Ciclo P-V 2014) de la especie *A. cruentus*, fueron proporcionadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle de México (Cevamex). Las mismas variedades fueron cultivadas en la comunidad El Sauz de Villaseñor en el municipio de Pénjamo, Gto., en el ciclo Primavera-Verano 2015.

### METODOLOGÍA

Se cuantificó el contenido de humedad de la semilla de cada variedad por triplicado, empleando un analizador de humedad (OHAUS, USA) ajustando la humedad en caso necesario a 4, 8 o 12%.

La determinación de los parámetros de capacidad de reventado se realizó de acuerdo a metodología ya reportada [3, 6]. Se midió un volumen de 30 cm<sup>3</sup> (V<sub>0</sub>) de semilla de amaranto en una probeta registrando su masa. Se realizó el proceso de reventado registrando el volumen y masa de la muestra (V<sub>f</sub>, m<sub>f</sub>), tras lo cual se separó el grano reventado empleando un tamiz de 1.8 mm y se registró el volumen y masa de la fracción reventada (V<sub>r</sub>, m<sub>r</sub>). El incremento de volumen (IV) se

obtuvo por la diferencia entre el volumen final e inicial de la semilla, Ec. (1), mientras que la densidad ( $\rho$ ) del reventado se obtuvo por la relación entre su masa y volumen, Ec. (2). La eficiencia o rendimiento del reventado (E) se calculó mediante la Ec. (3), relacionando la masa de la fracción reventada con la masa de la muestra total.

$$IV(\%) = \frac{V_f - V_0}{V_0} \times 100 \quad \text{Ec. (1)}$$

$$\rho = \frac{m_r}{V_r} E \quad \text{Ec. (2)}$$

$$(\%) = \frac{m_r}{m_f} \times 100 \quad \text{Ec. (3)}$$

Para el reventado en microondas, los 30 cm<sup>3</sup> de semilla se colocaron en una bolsa de papel kraft y se sometieron a calentamiento por tiempos de 55, 60, 65 y 70 s, empleando el equipo de microondas Modelo HMM141DB (Frecuencia de microondas de 2450 MHz, Potencia de salida 1000 W) (Mabe, USA). El reventado de aire caliente se realizó en una máquina para palomitas doméstica Modelo RHP310 (Potencia de 1040 W) (Nostalgia Products, USA) con lapsos de procesamiento de 40 a 60 s. La máquina se calentó durante 2 minutos previo a la introducción de la semilla a reventar. La temperatura del aire durante el reventado fue de 160°C ( $\pm 10^\circ\text{C}$ ) con un flujo estimado de 0.011 m<sup>3</sup>/s (velocidad del aire 2.85 m/s, diámetro interno de la cámara 0.07 m). La velocidad del flujo de aire fue medida con un anemómetro de aspa Air Flow Modelo LCA301 (TSI Instruments Ltd., USA).

Se realizó un diseño factorial con distintos niveles para la evaluación de la capacidad de reventado. El análisis estadístico de los datos obtenidos se realizó empleando el programa Minitab® versión 17 (Minitab Inc., 2013).

## RESULTADOS Y CONCLUSIONES

### Efecto del método de reventado

Tradicionalmente, la semilla de amaranto es reventada mediante el calentamiento en comales de barro, que están siendo sustituidos por reventadoras a base de aire caliente. Al igual que el maíz palomero, el amaranto también puede ser reventado empleando microondas, lo que podría representar una opción de comercialización debido a que más del 85% de los hogares de México cuentan con horno de microondas [7]. En una primera etapa se propuso comparar la capacidad de reventado en microondas y con aire caliente en una máquina para palomitas doméstica, empleando semilla cultivada en el estado de México, de las variedades Nutrisol y Revancha. El método de reventado afectó significativamente las variables de eficiencia, incremento de volumen y densidad de la semilla reventada (Tabla 1), y se observó una diferencia significativa también entre las variedades.

Tabla 1. Efecto del método empleado sobre la capacidad de reventado

Parámetro	Datos
Área delimitada	4,84 km <sup>2</sup>
Cantidad de predios	2014
Cantidad de habitantes	9163
Cantidad de RSD	≈ 39 Ton/se
Distancia recorrida por el vehículo en un recorrido	19,41 km
Tiempo de recolección	6.5 h - 8.5 h
Velocidad promedio de recolección	3 km/h
Velocidad máxima	46 km/h

La humedad de la semilla no afectó la eficiencia pero si el incremento del volumen, siendo superior en la semilla con 8% con respecto a la del 12%. Este resultado concuerda con lo reportado por Lara y Ruales [8], quienes encontraron una disminución en el volumen de expansión al incrementarse la humedad (12 al 16%). En el reventado por microondas, los mejores resultados se obtuvieron a los 65 s de calentamiento con un incremento de volumen de 97%, y una eficiencia de 49% (Datos no mostrados). En general, la eficiencia del reventado por aire caliente fue el doble que por microondas, mientras que el incremento de volumen fue cuatro veces supe-

rior (Fig. 1). Estos resultados pueden atribuirse a que el reventado por microondas es considerablemente afectado por el contenido de humedad de la semilla debido a que una baja humedad detiene la expansión, mientras que una elevada humedad suaviza la matriz gelatinizada del almidón, generando su colapso [5, 9]. Adicionalmente, la transferencia de calor desigual y el corto tiempo de calentamiento en un horno de microondas convencional, pueden impedir alcanzar un grado suficiente de gelatinización del almidón afectando las propiedades del alimento [9].

De acuerdo a estos resultados se determinó no emplear el reventado por microondas para las siguientes pruebas, no descartando que con un proceso de optimización pueda proponerse para su uso doméstico, debido a que se trata de una tecnología relativamente barata y de fácil acceso.

Efecto del sitio de siembra sobre la capacidad de reventado

Siendo el amaranto un cultivo con alta eficiencia en el uso de agua, es una alternativa a cultivos tradicionales como el sorgo y trigo. Estudios previos han establecido que las zonas del noroeste, este y sureste de la Mesa Central de Guanajuato son Medianamente Aptas (MA) para el cultivo de amaranto [10] y se ha reportado que las variedades Revancha, Nutrisol, Rojita, Amaranteca y Dorada muestran un buen comportamiento en Guanajuato [2]. Con la finalidad de evaluar si las condiciones del Bajío guanajuatense podrían modificar las propiedades de la semilla, se obtuvo grano de las variedades Revancha, Amaranteca y Dorada cultivadas en el municipio de Pénjamo.

Los resultados obtenidos muestran que el sitio de siembra tiene un efecto con significancia estadística sobre el incremento de volumen y la densidad (parámetros correlacionados ver Ec. (1) y (2), mientras que la eficiencia no presentó diferencia significativa (Tabla 2 y Fig. 2).

Tabla 2. Efecto del sitio de siembra y variedad sobre la capacidad de reventado.

Factores	Eficiencia (%)	Incremento de volumen (%)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
<i>Variedad</i>			
Revancha	93.04 b	381.11 a	0.140 c
Amaranteca	93.15 b	250.28 c	0.200 a
Dorada	97.46 a	312.78 b	0.1702 b
<i>Sitio de Siembra</i>			
Estado de México	94.97 a	281.20 b	0.179 a
Pénjamo, Gto.	94.13 a	348.15 a	0.161 b
<i>Humedad</i>			
4 %	89.77 b	244.44 b	0.197 a
8 %	99.33 a	385.00 a	0.143 b

Letras diferentes en la misma columna, para cada factor, indican diferencia significativa (Tukey, p<0.05)

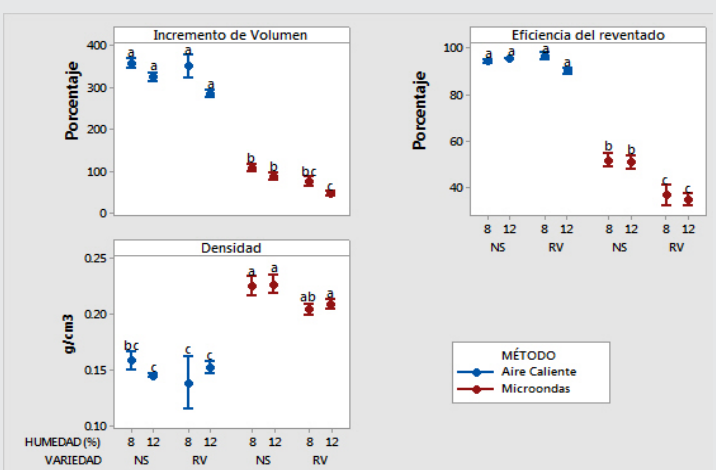


Figura 1. Efecto del método sobre la capacidad de reventado. Las muestras de semilla de las variedades Nutrisol (NS) y Revancha (RV) a 8 y 12 % de humedad, fueron reventadas empleando microondas o aire caliente. Los puntos indican la media (n=3 para aire caliente, n= 12 para microondas); los intervalos corresponden al error estándar. Letras diferentes indican significancia estadística (Tukey, p<0.05).

En las interacciones, la eficiencia del reventado de la variedad Revancha fue la única que se vio afectada significativamente por el sitio de siembra, siendo menor en la semilla proveniente del Cevamex, mientras que el incremento de volumen fue diferente en las variedades Revancha y Amaranteca, siendo más notorio en esta última donde se incrementó del 180% para Cevamex, al 320% para Pénjamo (Figura 2).

Estos resultados podrían deberse a que la testa de la semilla de Pénjamo, correspondiente a la cosecha 2015, se encuentra en mejores condiciones que la correspondiente a la cosecha 2014 del Cevamex, lo que permitiría una mayor presión del vapor de agua generado por el calentamiento con el consecuente incremento de volumen del reventado, sin una modificación en la cantidad de grano que revienta.

que en la pruebas del método de reventado se encontró una mayor eficiencia y expansión con 8% de humedad, en comparación al 12%, en la segunda etapa del proyecto se decidió determinar los parámetros en semilla con 4% y 8% de humedad. Se encontró que no existe una relación lineal entre la humedad de la semilla y la capacidad de reventado, pues tanto el volumen como la eficiencia fueron significativamente menores en la semilla con 4% de humedad (Figura 2A y 2B), independientemente del sitio de siembra y la variedad. Este comportamiento es similar al descrito por Konishi y col. [6], en el que observaron cambios significativos en la expansión del grano reventado (por aire caliente y vapor sobrecalentado) al incrementar o disminuir la humedad de la semilla, con respecto a un óptimo de 0.15 kg de agua/kg de semilla.

Para eliminar la fuente de variación interna por el sitio de siembra y la variedad, se repitió el análisis del efecto de la humedad sobre la eficiencia e incremento de volumen únicamente para la variedad Revancha; a pesar de que en ambas respuestas los valores más altos se encuentran a 8% de humedad, la diferencia no es significativa (Tabla 3), por lo que no se puede afirmar que, al menos en la variedad Revancha, exista alguna correlación entre el contenido de humedad y la capacidad de reventado de la semilla de amaranto.

Tabla 3. Efecto de la humedad sobre la capacidad de reventado de la variedad Revancha

año de la empresa	Sí generan RP (%)	No generan RP (%)
pequeñas	17	83
medianas	39	61

CONCLUSIONES

Con respecto al método artesanal de reventado de amaranto en comal, los métodos de por microondas y aire caliente presentan la ventaja de rapidez, facilidad de regulación y estandarización. De estos, la técnica por microondas requiere un proceso de optimización para lograr mejores resultados, siendo el método de reventado por aire caliente el que permite obtener una mayor eficiencia e incremento de volumen en el grano reventado.

Los resultados obtenidos muestran que el contenido de humedad del grano es un factor que debe ser tomado en consideración para optimizar el proceso de reventado en conjunto con la variedad empleada. Dentro de estas, la variedad Dorada fue la que mostró el mayor volumen de expansión y rendimiento con menor variación con respecto al sitio de siembra, mientras que la variedad Revancha fue la que presentó la mejor

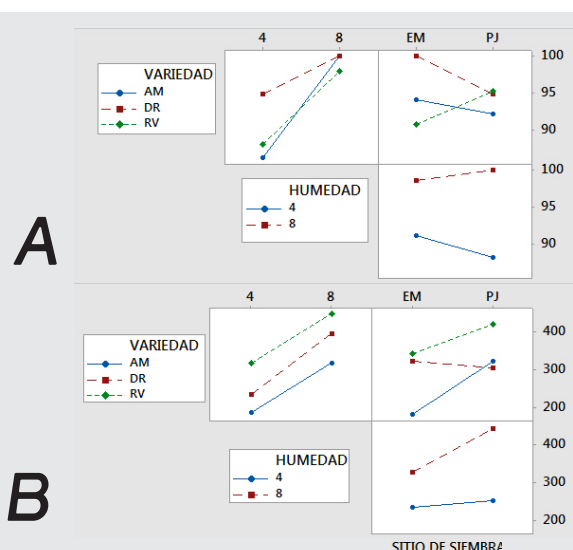


Figura 2. Interacción entre factores que modifican la capacidad de reventado. A) Efecto sobre la eficiencia de reventado B) Efecto sobre el incremento del volumen. Los factores evaluados son el sitio de siembra (Estado de México [EM] o Pénjamo [PJ]), la humedad de la semilla (4 y 8%) y la variedad de amaranto (Revancha [RV], Amaranteca [AM] y Dorada [DR]). Los puntos indican la media de los datos.

Efecto de la humedad sobre la capacidad de reventado.

Para lograr el reventado de grano de amaranto, es necesario someterlo a calentamiento de modo que la humedad contenida en la semilla sea convertida en vapor que genera la expansión al fundir los gránulos de almidón y romper el pericarpio [8].

La humedad del grano tendría que estar relacionada tanto con la eficiencia como con el volumen del grano reventado. Sin embargo, la revisión bibliográfica muestra datos contradictorios, por ejemplo, Suárez-Ramos y col. (citado por [3]), indican un óptimo de 3.5 a 6.0 % de humedad, mientras que otros autores no han encontrado correlación entre el contenido de humedad y el porcentaje de grano reventado [3, 11]. Debido a

capacidad de reventado por lo que podría ser una opción recomendable para su uso en la región.

La comparación de la eficiencia y volumen de expansión del grano reventado demuestran que el Bajío guanajuatense presenta condiciones adecuadas para la producción del cultivo con semilla de calidad similar a la de los principales estados productores, permitiendo complementar futuros estudios de factibilidad para fomentar su siembra en la región.

#### AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de investigación fue realizado con el apoyo del Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología del Estado de Guanajuato (CONCYTEG), proyecto "Elaboración y Evaluación de suplementos con proteína de alta calidad como productos de valor agregado para fomentar cultivos eficientes en el uso de agua" aprobado en la Convocatoria "Jóvenes Investigadores 2015", Convenio UPP 100/2015. Un agradecimiento personal a los alumnos de la Universidad Politécnica de Pénjamo, Diana Brenda Rodríguez Soto y José Ignacio García Aguilera por su tiempo para el desarrollo metodológico.

#### REFERENCIAS

[1] Mapes-Sánchez, C. (2010). *El amaranto (Amaranthus spp.) planta originaria de México*. *Academia, Ciencia y Cultura*. AAPAUNAM, 4: 217-222.

[2] Espitia-Rangel, E., Mapes-Sánchez, C., Escobedo-López, D., De La O-Olán, M., Rivas-Valencia, P., Martínez-Trejo, G., y Hernández-Casillas, J. M. (2010). *Conservación y uso de los recursos genéticos de amaranto en México*. Celaya, Guanajuato, México: SINAREFI-INIFAP-UNAM, Centro de Investigación Regional Centro.

[3] Barrales Domínguez, J. S., y Torres Hernández, L. (1998). *Capacidad de Reventado del Grano de Amaranto*. *Chapingo Serie Horticultura*, 4(1), 63-64.

[4] Mishra, G., Joshi, D. C., y Panda, B. K. (2014). *Popping and puffing of cereal grains: a review*. *J. grain processing storage*, 1(2), 34-46.

[5] Lee, E. Y., Lim, K. I., Lim, J. K., y Lim, S. T. (2000). *Effects of gelatinization and moisture content of extruded starch pellets on morphology and physical properties of microwave-expanded products*. *Cereal Chemistry*, 77(6), 769-773.

[6] Konishi, Y., Iyota, H., Yoshida, K., Moritani, J., Inoue, T., Nishimura, N., y Nomura, T. (2004). *Effect of moisture content on the expansion volume of popped amaranth seeds by hot air and superheated steam using a fluidized bed system*. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, 68(10), 2186-2189.

[7] Instituto Nacional de Estadística, & Informática (México) (2014). *Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares 2014*. *Consulta interactiva de datos-Hogares*. INEGI. Disponible en: [http://www.inegi.org.mx/est/lista\\_cubos/consulta.aspx?p=en-cue&c=7](http://www.inegi.org.mx/est/lista_cubos/consulta.aspx?p=en-cue&c=7)

[8] Lara, N. y Ruales, J. (2002). *Popping of amaranth grain (Amaranthus caudatus) and its effect on the functional, nutritional and sensory properties*. *J. Sci. Food Agric.*, 82: 797-805.

[9] Moraru, C.I. y Kokini, J.L. (2003). *Nucleation and expansion during extrusion and microwave heating of cereal foods*. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2: 147-165.

[10] Granados Ramírez, R., Reyna Trujillo, T., Soria Ruíz, J., y Fernández Ordóñez, Y. (2004). *Aptitud agroclimática en la mesa central de Guanajuato, México*. *Investigaciones geográficas*, (54), 24-35.

[11] Barrales Brito E., y Gallardo Navarro Y. (2012). *Modificación de la digestibilidad de proteínas en diferentes condiciones de temperatura y humedad en el reventado de Amaranto*. XIV Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos. *Revista de Salud Pública y Nutrición Esp.2*